

УДК 656.13.01

Малишев А.В., Дудніков О.М., к.т.н., Нужний В.В., к.т.н.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка.

ВРАХУВАННЯ СКЛАДУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПОТОКІВ НАСИЧЕННЯ ДЛЯ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Запропоновано врахувати вплив складу транспортного потоку при визначенні потоку насичення для розрахунку режимів роботи світлофорного об'єкту на пересіченні доріг на одному рівні.

Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

Бурхливий процес автомобілізації з кожним роком охоплює все більше число країн, постійно збільшується автомобільний парк. Зростання автомобільного парку і об'єму перевезень веде до збільшення інтенсивності руху, що в умовах міст із забудовою, яка історично склалася, призводить до виникнення транспортної проблеми. Особливо гостро вона виявляється на пересіченнях в одному рівні. Тут збільшуються транспортні затримки, утворюються черги і затори, що викликає зниження швидкості сполучення, невиправдана перевитрата палива і підвищене зношування вузлів і агрегатів транспортних засобів, а також збільшення викидів відпрацьованих газів та зростання шумового забруднення середовища.

Одним з основних засобів забезпечення безпеки руху та зменшення затримок на перехрестях є впровадження світлофорного регулювання. При уведенні світлофорного регулювання однією з основних задач, що постають перед спеціалістами з організації дорожнього руху, є розрахунок оптимальної тривалості циклу світлофорної сигналізації.

Одним з основних показників, що впливає на значення тривалості циклу світлофорної сигналізації, є показник потоку насичення. Він, як і інтенсивність дорожнього руху, визначається у приведених до умовного легкового автомобіля одиницях, що в свою чергу веде до спотворення реальних даних при розрахунках тривалості циклу світлофорного регулювання. Тому необхідно розглянути вплив фактичного складу транспортного потоку на значення потоків насичення. Звідси постає наукова задача щодо з'ясування впливу складу транспортного потоку на значення потоків насичення при розрахунку тривалості циклу світлофорної сигналізації на перехрестях в одному рівні, що робить тему роботи доцільною і актуальною.

Мета роботи

Метою роботи є врахування впливу складу транспортного потоку у розрахунку потоку насичення при визначенні тривалості циклу світлофорного регулювання.

Основна частина

При визначенні режимів світлофорного регулювання прийнято користуватися значеннями завантаження пересічення рухом, тобто співвідношенням реальної інтенсивності руху на підходах до пересічення з пропускнуою здатністю пересічення. В даному випадку слід мати на увазі, що пропускна здатність, яка забезпечується на перегоні, відрізняється від пропускнуої здатності на пересіченні. Це пояснюється тим, що на пересіченні автомобільні транспортні засоби (ТЗ), в загальному випадку, повинні зупинитися, а потім їхати на зелений сигнал світлофора.

Значення пропускнуої здатності перехрестя зі світлофорним регулюванням визначається таким показником, як потік насичення.

Існуюче поняття потоку насичення — максимальна можлива інтенсивність роз'їзду черги транспортних засобів на регульованому пересіченні за умови, що тривалість горіння зеленого сигналу нескінченна та відсутній втрачений час фази регулювання.

Існуюча теоретична методика визначення потоку насичення полягає в наступному: для випадку руху в прямому напрямі по дорозі без поздовжніх ухилів потік насичення розраховують за емпіричною формулою, яка пов'язує цей показник з шириною проїзної частини, що використовується для руху транспортних засобів в даному напрямі (j) даної фази регулювання (k) [1]:

$$M_{n_{jk}np} = 525 \cdot B_{пч} \quad (1)$$

де $M_{n_{jk}np}$ — потік насичення в прямому напрямку, *од/год*;

$B_{пч}$ — ширина проїзної частини в даному напрямі даної фази, *м*.

Формула (1) може бути застосована при ширині проїзної частини від 5,4 м до 18,0 м. Якщо ширина проїзної частини менше 5,4 м, для розрахунку можна використовувати дані, приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення потоку насичення в залежності від ширини проїзної частини

Потік насичення ($M_{n_{jk}np}$), <i>од/год</i> .	1850	1920	1970	2075	2475	2700
Ширина проїзної частини ($B_{пч}$), <i>м</i>	3,0	3,5	3,75	4,2	4,8	5,1

Якщо перед пересіченням смуги позначено дорожньою розміткою, потік насичення можна визначити відповідно до приведених даних окремо для кожної смуги руху.

Аналіз формули (1) вказує на те, що не зрозуміло, яким чином емпіричний коефіцієнт (525) враховує всі умови руху транспортного потоку, від яких залежить інтенсивність роз'їзду черги транспортних засобів на регульованому пересіченні, а саме: коефіцієнт зчеплення з дорогою, завантаженість дороги на підходах до регульованого пересічення, швидкість і склад потоку. Тобто в наведеній формулі не враховуються всі характеристики транспортного потоку.

Швидкість під час роз'їзду транспортного потоку на регульованому перехресті для кожного окремого автомобіля є різною, особливо для перших 4-6-ти автомобілів черги [2]. Що стосується складу транспортного потоку, то проблема полягає в тому, що кожен транспортний засіб: легковий, вантажний автомобіль або автопоїзд має свої динамічні характеристики, що відрізняються від інших. Це, у свою чергу, впливає на величину значення потоку насичення, що визначається під час роз'їзду черги транспортних засобів на зеленому сигналі світлофора.

В даній роботі пропонується наступне визначення потоку насичення — це максимальна інтенсивність роз'їзду нескінченної черги транспортних засобів в перетині стоп-лінії, за умови нескінченної тривалості горіння зеленого сигналу, з урахуванням втраченого часу.

Для детальнішого пояснення наданого поняття потоку насичення розглянемо графік інтенсивності роз'їзду нескінченної черги транспортних засобів через стоп-лінію після включення зеленого сигналу світлофора (рис. 1).

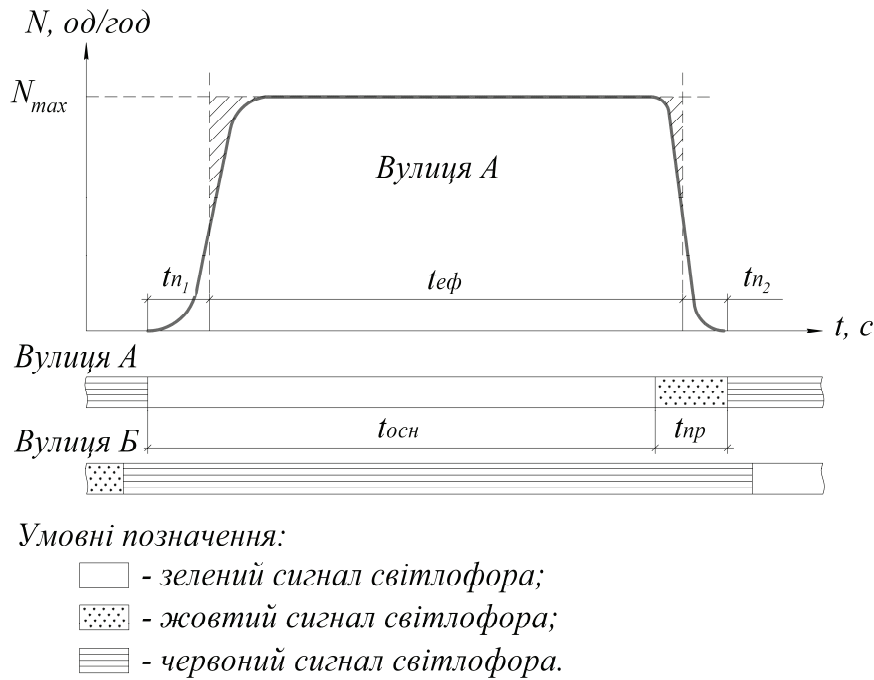


Рис. 1. Графік інтенсивності роз'їзду черги транспортних засобів на перехресті зі світлофорним регулюванням, де:

- N — інтенсивність роз'їзду черги транспортних засобів, *од/год*;
 N_{max} — максимальне значення інтенсивності роз'їзду черги транспортних засобів, *од/год*;
 t — час, протягом якого спостерігається інтенсивність роз'їзду черги, *с*;
 $t_{осн}$ — тривалість основного такту, *с*;
 $t_{пр}$ — тривалість проміжного такту, *с*;
 $t_{эф}$ — ефективна тривалість фази регулювання, *с*;
 $t_{п1}$ — втрачений час на стартову затримку першого автомобіля черги, *с*;
 $t_{п2}$ — втрачений час на роз'їзд черги на жовтий сигнал світлофора, *с*.

Як видно з рисунка, після включення зеленого сигналу світлофора транспортним засобам потрібен певний час для того, щоб рушити з місця і розвинути необхідну швидкість руху. Після декількох секунд черга транспортних засобів рухається з більш менш постійною максимальною інтенсивністю, яку прийнято вважати потоком насичення.

Інтенсивності роз'їзду черги транспортних засобів, з якою автомобілі перетинають стоп-лінію перехрестя, на початку фази регулювання та після досягнення сталого значення істотно відрізняються. Дані відмінності головним чином обумовлені наявністю інтервалу безпеки.

Під час роз'їзду черги, інтервал між парою транспортних засобів залежить від їх типів. Це можна пояснити тим фактом, що різні типи транспортних засобів володіють різними ваговими характеристиками, а також різними динамічними властивостями.

Чим важче в парі транспортний засіб, що їде позаду, тим більшу відстань водій витримуватиме до транспортного засобу, що їде попереду. Таким чином, склад транспортного потоку впливає на значення інтервалів між транспортними засобами, які в свою чергу впливають на інтенсивність роз'їзду черги транспортних засобів в перетині стоп-лінії на перехресті зі світлофорним регулюванням.

Для врахування впливу складу транспортного потоку при визначенні потоку насичення будемо використовувати існуючу методику розрахунку з певними уточненнями.

Висувається гіпотеза щодо розрахунку потоку насичення для кожної окремої смуги руху в даному напрямку даної фази регулювання (з використанням даних з таблиці 1). Оскі-

льки існуюча методика припускає можливість визначення потоку насичення для смуг руху, що виділені дорожньою розміткою, немає необхідності у використанні формули (1). Дана гіпотеза ґрунтується на необхідності нанесення розмітки на проїзну частину дороги для виділення окремих смуг руху [3].

Також висувається гіпотеза щодо визначення потоку насичення з урахуванням складу транспортного потоку за допомогою формули:

$$M_{jk}^{cn} = M_{jk}^{np} \cdot K_{cn}, \quad (2)$$

де M_{jk}^{cn} — потік насичення з врахуванням складу транспортного потоку, *од/год*;

M_{jk}^{np} — потік насичення в прямому напрямку (таблиця 1), *од/год*;

K_{cn} — коефіцієнт, що враховує вплив складу транспортного потоку на значення потоку насичення.

Коефіцієнт, що враховує вплив складу транспортного потоку на значення потоку насичення пропонується визначати на основі того факту, що поява в потоці, який складається з легкових автомобілів, транспортних засобів іншого типу збільшить значення сталого інтервалу роз'їзду автомобілів з черги в перетині стоп-лінії. У свою чергу, збільшення сталого інтервалу роз'їзду автомобілів зменшить значення потоку насичення.

Тобто висувається гіпотеза, що коефіцієнт, який враховує вплив складу транспортного потоку на значення потоку насичення, буде визначатися шляхом врахування різниці сталого інтервалу роз'їзду тільки для легкових автомобілів та для різних типів транспортних засобів [4].

Коефіцієнт, що враховує вплив складу транспортного потоку на значення потоку насичення, буде визначатися за формулою:

$$K_{cn} = \frac{I_{ll}}{I_{cp}^{III}}, \quad (3)$$

де I_{ll} — сталий інтервал роз'їзду легкових автомобілів з черги в перетині стоп-лінії, *с*; $I_{ll} = 2c$ (рис. 2);

I_{cp}^{III} — середній сталий інтервал роз'їзду потоку транспортних засобів з черги в перетині стоп-лінії, *с*:

$$I_{cp}^{III} = \sum \rho_i \cdot \rho_j \cdot I_{ij}, \quad (4)$$

де I_{ij} — сталий інтервал роз'їзду транспортних засобів з черги в перетині стоп-лінії, *i*-го типу за *j*-тим (дані зібрані НДІ), *с*;

ρ_i , ρ_j — фактичні імовірності появи транспортних засобів *i*-го та *j*-го типу (визначаються за даними обліку руху або задаються складом руху).

Під час роз'їзду черги обмеженням в русі для першого автомобіля є його тягово-швидкісні характеристики. Для другого і наступних автомобілів обмеженнями є інтервал безпеки до транспортного засобу, що їде попереду, і його швидкість, оскільки максимальною, для кожного наступного автомобіля, буде швидкість автомобіля, що їде попереду.

Під час роз'їзду черги інтервали убування автомобілів від стоп-лінії змінюються приблизно згідно із закономірністю, вказаною на рис. 2. Цифрові значення інтервалів справедливі тільки для легкових автомобілів, для вантажних автомобілів і автобусів вони приблизно на 50 % більше [5].

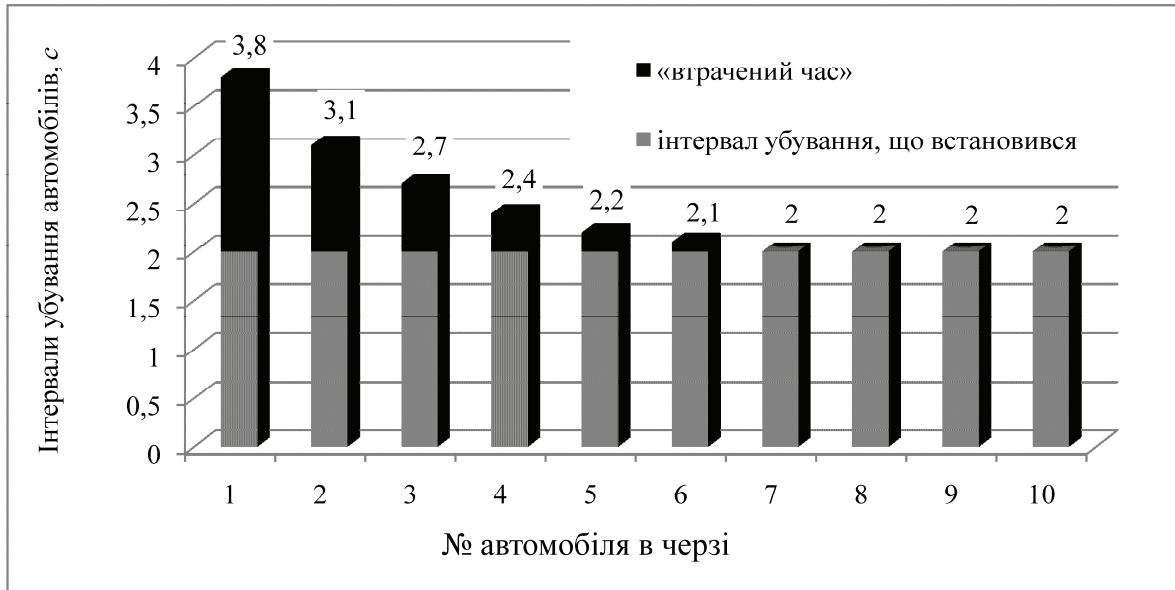


Рис. 2. Розподіл інтервалів роз'їзду черги автомобілів біля стоп-лінії після включення зеленого сигналу світлофора

Збільшення інтервалів убування перших автомобілів пов'язане з реакцією водія, втраченою часу на включення передачі, збільшенням дистанції безпеки між автомобілями, яка була зменшена до межі під час зупинки і т.д. З діаграми видно, що стабілізація інтервалу убування відбувається після 6-го автомобіля в черзі. Накопичену різницю між величиною перших і величиною сталих інтервалів можна назвати «втраченим часом» [5]. Виходячи з даних рисунка, можна висунути гіпотезу, що під час роз'їзду черги, у разі кожного наступного загоряння зеленого сигналу світлофора, при розрахунках буде втрачено час на роз'їзд двох автомобілів, тобто: загальний втрачений час черги складає 4,3 с, а сталий інтервал убування автомобілів від стоп-лінії після включення зеленого сигналу складає 2 с. На основі даної гіпотези пропонується зменшувати значення потоку насичення на ту величину, яка теоретично не реалізується протягом втраченого часу. Тим самим буде враховано втрачений час фази регулювання.

$$M_{jk}^L = \frac{3600}{120} \cdot \sum \frac{t_B^i}{I_i} \cdot \lambda_i = 30 \cdot \sum \frac{t_B^i}{I_i} \cdot \lambda_i, \quad (5)$$

де t_B^i — втрачений час для i -го типу транспортного засобу (рис. 2), с;

λ_i — частка транспортних засобів i -го типу в потоці;

I_i — сталий інтервал убування транспортних засобів i -го типу з черги в перетині стоп-лінії, с/авт.

$$M_{jk}^* = M_{jk}^{cn} - M_{jk}^L, \quad (6)$$

де M_{jk}^* — потік насичення з урахуванням впливу складу транспортного потоку та втраченого часу, од/год;

M_{jk}^L — потік насичення, що не реалізований протягом втраченого часу, од/год.

Усі подальші розрахунки потоку насичення з урахуванням подовжнього ухилу дороги, виконання маневрів повороту з виділеної смуги та інших умов руху будуть виконуватися за формулами наведеними нижче.

Залежно від подовжнього ухилу дороги на підході до пересічення змінюється розрахункове значення потоку насичення. Кожен відсоток ухилу на підйом знижує (на спуск — збільшує) потік насичення $M_{n_{ij}}$ на 3 %. Для його розрахунку користуються формулою:

$$M_{n_{jk}} = M_{n_{jk}}^* \cdot (1 \pm 3 \cdot i / 1000) , \quad (7)$$

де i — подовжній ухил проїзної частини в даному напрямку даної фази, %.

У випадку руху транспортних засобів прямо, а також наліво і (або) направо по одних і тих же смугах руху, якщо інтенсивність ліво- і правоповоротних потоків складає більше 10 % загальної інтенсивності руху в даному напрямку даної фази, потік насичення, одержаний за формулою (6), корегують за допомогою формули:

$$M_{n_{jk}} = M_{n_{jk}}^* \cdot \frac{100}{a + 1,75b + 1,25c} , \quad (8)$$

де a , b і c — відсотки інтенсивності руху транспортних засобів за напрямками, відповідно прямо, наліво і направо.

Для право- і лівоповоротних потоків, що рухаються по спеціально виділених смугах, потік насичення визначається залежно від радіусу повороту R :

– для однорядного руху

$$M_{n_{jk}^{нов}} = \frac{1800}{1 + 1,525 / R} \cdot K_{СП} , \quad (9)$$

– для дворядного руху

$$M_{n_{jk}^{нов}} = \frac{3000}{1 + 1,525 / R} \cdot K_{СП} , \quad (10)$$

де $K_{СП}$ — коефіцієнт, що враховує вплив складу транспортного потоку на значення потоку насичення.

Радіус повороту може бути визначений за планом перехрестя, яке накреслено в масштабі. У разі дворядного руху формулу (10) підставляють середнє значення радіусу.

Решту чинників, що впливають на потік насичення, враховують за допомогою поправочних коефіцієнтів, наведених у [1].

Висновок

Таким чином, у роботі досягнута мета щодо врахування впливу складу транспортного потоку при визначенні потоку насичення для розрахунку режимів роботи світлофорного об'єкта на пересіченні доріг на одному рівні. Методика визначення потоку насичення з врахуванням впливу складу транспортного потоку забезпечить визначення більш наближеного до реальної ситуації значення потоку насичення, що в свою чергу повинно призвести до оптимізації тривалості циклу роботи світлофорної сигналізації.

Подальший розвиток досліджень

Розроблена методика потребує емпіричних досліджень з метою визначення сталих інтервалів для різних типів транспортних засобів на пересіченнях доріг на одному рівні. Також необхідно визначити значення потоку насичення шляхом натурних спостережень та порівняти їх з розрахунковими значеннями, визначеними за існуючою та запропонованою методиками.

Список літератури

1. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 250 с.
2. Астапеня П.Н. Увеличение производительности светофорных объектов с помощью предсигналов / П.Н. Астапеня // Науково-технічний вісник «Безпека дорожнього руху України». — К.: ДНДЦ БДР ДДПСММ МВС України, 2006. — № 1-2 (22). — С. 121-125.
3. Розмітка дорожня. Технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосування: ДСТУ 2586-94. — К.: Держспоживстандарт України, 1994.
4. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. — М.: Транспорт, 1990. — 240 с.

Стаття надійшла до редакції 07.05.10

© Малишев А.В., Дудніков О.М., Нужний В.В., 2010